



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Patentschrift**
(10) **DE 198 59 759 C 1**

(51) Int. Cl.⁷:
C 07 F 7/18
C 08 G 77/38
C 08 G 77/46

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

GOLDSCHMIDT AG, 45127 Essen, DE

(72) Erfinder:

Dröse, Jürgen, 45141 Essen, DE; Geisler, Hubertus, Dr., 59457 Werl, DE; Hiersche, Wolfgang, 45147 Essen, DE; Klein, Klaus-Dieter, Dr., 45468 Mülheim, DE; Knott, Wilfried, Dr., 45141 Essen, DE; Mehrwald, Andreas, Dr., 45307 Essen, DE; Windbiel, Dagmar, 45239 Essen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 196 32 157 A1
DE 196 19 138 A1
WO 98 05 700 A1

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung kontinuierlicher Hydrosilylierungsreaktionen

(57) Die Erfindung betrifft ein kontinuierliches Verfahren zur Herstellung von organomodifizierten Polysiloxanen durch die Übergangsmetall-katalysierte Addition von SiH-Gruppen enthaltenden Polysiloxanen an CC-Mehrfachbindungen enthaltende Substanzen, insbesondere ein Verfahren zur kontinuierlichen Hydrosilylierung von CC-Mehrfachbindungen enthaltenden Substanzen, das dadurch gekennzeichnet ist, daß man die Reaktanten gegebenenfalls in Anwesenheit eines homogenen oder heterogenen Katalysators in einen schlaufenförmigen, temperierbaren Reaktionskreislauf einbringt, der ein statisches Mischelement und/oder ein dynamisches Mischelement aufweist, um Edukte und gebildetes Produkt zu vermischen, das Reaktionsgemisch bis zu einem vorbestimmten Umsetzungsgrad in dem Reaktionskreislauf beläßt, anschließend das noch Edukte enthaltende Reaktionsgemisch zur Vervollständigung der Reaktion in einen Rohrreaktor überführt und über eine Vorlage entnimmt. Des weiteren wird eine geeignete technische Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben.

DE 198 59 759 C 1

DE 198 59 759 C 1

DE 198 59 759 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein kontinuierliches Verfahren zur Herstellung von organomodifizierten Polysiloxanen durch die Übergangsmetall-katalysierte Addition von SiH-Gruppen enthaltenden Polysiloxanen an CC-Mehrfachbindungen 5 enthaltende Substanzen. Des Weiteren wird eine geeignete technische Vorrichtung zur Durchführung des erfundungsge- mäßen Verfahrens beschrieben.

Unter den Verfahren zum Aufbau und zur Modifizierung von Organosiloxanen kommt der Übergangsmetall-kataly- 10 sierten Hydrosilylierung eine besondere Bedeutung zu, da sie in vielfältiger Weise SiC-Verknüpfungen ermöglicht. Un- geachtet der Anwendungsbreite dieser Reaktion ist deren technische Umsetzung jedoch oft von erheblichen Schwierig- keiten begleitet. Im Mittelpunkt dieser Probleme steht die zeitlich veränderliche, und vielen Störeinflüssen ausgesetzte 15 Katalysatoraktivität. Vor dem Hintergrund der bei Hydrosilylierungsreaktionen freiwerdenden Energie (Exothermie) führt eine schwankende Katalysatoraktivität in Batchprozessen nicht selten zu kritischen Betriebszuständen, da sich zwischenzeitlich Reaktandmengen kumulieren und damit ein Gefahrenpotential aufbauen können. Der Batchprozeß repräsentiert den üblichen Stand der Technik für technische Hydrosilylierungen, nicht zuletzt, da erfahrungsgemäß eine Prä- 20 formierungsphase zur Bildung der katalytisch aktiven Spezies aus dem inaktiven Vormaterial zwingend zu durchlaufen ist. Die schwankenden Reaktionsverläufe technischer Hydrosilylierungsreaktionen bedingen eine hohe Präsenz qualifi- zierter Mitarbeiter.

Ein besonderes Gefahrenpotential geht von den stofflichen Systemen bei Hydrosilylierungsprozessen aus, die eine 25 hohe Hydridwasserstoffdichte aufweisen. Neben den monomeren Silanen sind hier speziell die Derivate des Poly-(methylwasserstoff)-siloxans zu nennen.

Einhergehend mit dem Gefahrenmoment liefern die kritischen Systeme auch unerwünschte Nebenprodukte, d. h. die Selektivität der Zielreaktion leidet.

Bemerkenswerterweise trachten daher die bekannten chemischen Verfahren zur Herstellung organofunktionalisierter 30 Poly-(methylwasserstoff)-siloxane danach, die Stationärkonzentration aktiver SiH-Gruppen im SiC-verknüpfenden Schritt zu minimieren.

Beispielsweise beschreibt die WO 98/05700 einen (semi)kontinuierlichen Prozeß zur Herstellung multifunktioneller 35 Polyorganosiloxane mit Si-Alkyl- und Si-Alkoxy-Gruppen in einer vielstufigen Reaktionsvorrichtung, die aus einer Kombination eines Dehydrokondensationsreaktors mit einem Hydrosilylierungsreaktor besteht. Der Dehydrokondensationsreaktor wird mit einem SiH-haltigen Polyorganosiloxan und – hierauf bezogen im Unterschub – mit einem Alkohol 40 bzw. Thioalkohol in Gegenwart eines Platinkatalysators beschickt, wobei unter H₂-Freisetzung ein gemischtes Alkoxy-Wasserstoffsiloxan bzw. Thioalkoxy-Wasserstoffsiloxan entsteht, das dann unverzüglich mit einem Olefin in einem nachgeschalteten Hydrosilylierungsreaktor der SiC-verknüpfenden Alkylierung unterzogen wird. Auf Seite 2, Zeile 29 bis Seite 3, Zeile 3 dieser Schrift wird auf die Gefahrenmomente im Umgang mit SiH-haltigen Verbindungen – selbst solchen mit zum Teil Alkoxy- beziehungsweise Thioalkoxy-funktionalisierten Ketten- abgestellt. Bewußt wird die eigentliche 45 Hydrosilylierung daher erst nach der partiell-entschärfenden Reaktion (Dehydrokondensation) durchgeführt, obwohl der Betrieb dieses Prozesses mit dem technischen Problem der Gewährleistung einer vollständigen Abtrennung von Alkohol/Thiol und Wasserstoffgas vor der Hydrosilylierung einhergeht. Apparatechnisch wird daher eine aufwendige und kostspielige Lösung notwendig.

Auch an sich bereits bekannte kontinuierliche Verfahren zur Hydrosilylierung zielen auf eine Absenkung der In-Situ- 50 Konzentration aktiver SiH-Gruppen ab. Die DE 196 32 157 A lehrt ein Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Organosiliciumverbindungen vom Typ der 3-Halogen-Propyl-Organosilane der allgemeinen Struktur R_bH_{3-a-b}X_a-SiCH₂CH₂CH₂Y durch die Umsetzung eines Allylhalogenids mit einem wenigstens ein H-Atom tragenden Silan, das im Überschub vorgegeben wird. Als unerwünschte Nebenprodukte entstehen nicht verwertbare Propyl-Organosilane. Das wesentliche Merkmal dieses Verfahrens besteht darin, daß man durch Einstellen eines Teilmassatzes der Edukte von 55 10–80% bezogen auf die Unterschubkomponente die Nebenproduktbildung zurückdrängt.

Ein weiteres Verfahren zur kontinuierlichen Durchführung von Hydrosilylierungsreaktionen wird in der DE 196 19 138 A offenbart. Beschrieben wird ein Verfahren zur Herstellung von vinylierten Organo-Silicium-Verbindungen, das dadurch gekennzeichnet ist, daß man eine wenigstens eine SiH-Gruppe enthaltende Silicium-organische 60 Verbindung mit Acetylen im Überschub in einer weitgehend inerten Flüssigphase in Gegenwart eines Katalysators zur Umsetzung bringt. Zur Sicherung einer intensiven Durchmischung der Reaktionsmatrix gelangt ein Strahldüsenschlau- fenreaktor zum Einsatz.

Als kontinuierliche Gasphasenprozesse in einem Durchflußreaktor sind sowohl die Anlagerung von Acetylen an Methyldichlorsilan an einem Chrysotil-Asbest verankerten Wilkinson-Katalysator (Appl. Organomet. Chem. (1987), 1 (5), 459–63), als auch die mit eingeschränkter Selektivität verlaufende Hydrosilylierung von Acetylen mit Trichlorsilan an 65 auf SiO₂-fixierten Rh- und Ru-Phosphinkomplexen beschrieben (Appl. Organomet. Chem. (1987), 1 (3), 267–73).

Der Stand der Technik dokumentiert somit drei Verfahren zur Verdünnung aktiver SiH-Gruppen:
die Teilumsatz-Fahrweise,
die Verwendung einer inerten Flüssigphase und
die Reaktion im Gasraum.

Vor diesem Hintergrund stellte sich nun das Problem der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, die unter Vermeidung von bekannten Gefahrenpotentialen eine wirtschaftliche und reproduzierbare Durchführung der Hydrosilylierungsreaktion auch in schwierigen stofflichen Systemen gestatten und darüber hinaus auf komplizierte und teure Apparatechnik verzichten. Außerdem sollte das Verfahren eine gleichbleibend hohe Produktqualität bei sparsamem Einsatz der hochpreisigen Edelmetallkatalysatoren sichern. Darüber hinaus sollte das Verfahren bei nahezu vollständigem Umsatz, unter Verzicht auf eine inerte Hilfsphase und auch für nicht unzersetzt-verdampfbare, höhernukleare Reaktanden anwendbar sein.

Die vorgenannte Aufgabe wird in einer ersten Ausführungsform der Erfindung gelöst durch ein Verfahren zur kontinuierlichen Hydrosilylierung von CC-Mehrfachbindungen enthaltenden Substanzen, dadurch gekennzeichnet, daß man

DE 198 59 759 C 1

die Reaktanten gegebenenfalls in Anwesenheit eines homogenen oder heterogenen Katalysators in einen schlaufenförmigen, temperierbaren Reaktionskreislauf einbringt, der ein statisches Mischelement und/oder ein dynamisches Mischelement aufweist, um Edukte und gebildetes Produkt zu vermischen, das Reaktionsgemisch bis zu einem vorbestimmten Umsetzungsgrad in dem Reaktionskreislauf beläßt, anschließend das noch Edukte enthaltende Reaktionsgemisch zur Vervollständigung der Reaktion in einen Rohrreaktor überführt und über eine Vorlage entnimmt.

Eine allgemeine Darstellung des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips ist in Fig. 1 dargestellt.

Der Stoffstrom ist gegenüber dem der Temperierung (Kühlung oder Heizung) zu den variablen Anlagenparametern dienenden Ölkreislauf durch einen breiteren Strich hervorgehoben. Die in den Vorlagen B1 und B2 befindlichen, gegebenenfalls mit Katalysator beaufschlagten, Edukte werden mit Hilfe der Dosierpumpen P1 und P2 in den Loopreaktor eingespeist. Die fortwährende Umwälzung des Reaktandgemisches innerhalb des Loops wird durch die Pumpe P3 gewährleistet. Zur Unterstützung einer intensiven Durchmischung der Reaktionsmatrix sind statische Mischelemente (SM) in den Loop integriert. Nach einer vorbestimmten Verweilzeit tritt das Reaktionsgemisch in den Rohrreaktor über. Ist die Nachreaktion im Rohrreaktor abgeschlossen, wird das Produkt in der Vorlage B3 aufgefangen.

Überraschenderweise wurde gefunden, daß die geforderten Anforderungen durch ein Reaktorsystem erfüllt werden, in dem dosierte Reaktandenströme in Gegenwart eines heterogenen oder homogenen Edelmetallkatalysators durch einen temperierbaren Loopreaktor (Schlaufenreaktor) in Kombination mit einem temperierbaren Rohrreaktor geschleust werden. Der Loopreaktor übernimmt hierbei die Funktion, die kritische Anfangsphase der einsetzenden Hydrosilylierung steuerbar zu machen. Der Kumulation kritischer Stoffmengen an Edukten wird im Loopreaktor durch eine schnelle und intensive Vermischung begegnet, die sowohl durch den Einbau statischer Mischelemente als auch durch eine hohe Umwälzleistung der integrierten Förderpumpe gewährleistet ist. Wahlweise können die statischen Mischelemente auch durch im Durchfluß betriebene dynamische Mischer, beispielsweise nach dem Rotor/Stator-Prinzip, ersetzt oder auch in Kombination mit diesen verwendet werden (Fig. 2). Diese Maßnahmen bewirken einzeln und/oder in Kombination eine zeitadäquate, zügige Abreaktion von SiH-Gruppen-tragender und CC-Mehrfachbindung aufweisenden Substanz. Der mit dem Loopreaktor durch einen Überlauf verbundene Rohrreaktor dient der geringer exothermen Nachreaktion der Reaktionsmischung.

Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht somit in einer Vorrichtung zur kontinuierlichen Hydrosilylierung von wenigstens einer CC-Mehrfachbindung enthaltenen Substanzen umfassend eine Vorlage (B1) zur Aufnahme der gegebenenfalls mit einem Katalysator beaufschlagten Substanz, eine Vorlage (B2) zur Aufnahme der Hydrosilylierungskomponente, Fördereinrichtung (P1, P2) zum Einbringen eines Eduktstroms in einen schlaufenförmigen, temperierbaren Reaktionskreislauf, enthaltend ein stationäres Mischelement oder ein dynamisches Mischelement (SM) zum Vermischen der Edukte und des gebildeten Produkts, Einrichtungen zum Ableiten der Reaktionswärme, einen Rohrreaktor zur Vervollständigung der Reaktion und Einrichtungen zum Auffangen des Produktes (B3).

In den Kreislauf des Loopreaktors kann ein Rührkessel integriert werden, der mit einem statischen Mischelement (wie in Fig. 3 dargestellt) oder mit einem dynamischen Durchflußmischer (wie in Fig. 4 gezeigt) ausgerüstet ist. Als alternatives Reaktionssystem eignet sich für das erfundungsgemäße Verfahren auch eine Rührkesselkaskade bestehend aus wenigstens zwei oder mehr hintereinander durchströmten Rührkesseln (Fig. 5), die gegebenenfalls zur Nachkatalyse verwendet werden können.

Für den Fachmann verblüffend erweist sich die Beobachtung, daß man, verglichen mit der konventionellen Batch-Technik, wesentlich geringere Mengen an Edelmetallkatalysator zur Erzielung quantitativer Umsätze einsetzen muß. Der geringere Verbrauch an Edelmetall ist nicht nur unter dem Aspekt der Kostensenkung von Interesse, sondern nimmt auch direkten Einfluß auf die erzielte Produktqualität, da gewisse unerwünschte Verfärbungen direkt auf die Gegenwart von Übergangsmetallverbindungen zurückzuführen sind. Des Weiteren wird die Abtrennung des Katalysators von der Reaktionsmischung erleichtert.

Die mit dem erfundungsgemäß beanspruchten Reaktionssystem erzielbaren Raum-Zeit-Ausbeuten übertreffen deutlich die Produktivität der konventionellen Rührkesseltechnologie.

Dadurch ist es möglich, kleine und kompakte Produktionsanlagen zu errichten, die auf begrenztem Raum durch ihre Leistungsfähigkeit überzeugen.

Als weiterer, günstiger Aspekt ist die Chemoselektivität der Hydrosilylierungsreaktion direkt mit den hohen Raum-Zeit-Ausbeuten des vorgestellten Prozesses verknüpft. Insbesondere ambidente oder multifunktionelle Reaktanden (z. B. OH-funktionelle Allylpolyether) lassen sich mit guten Ausbeuten zu den Zielprodukten umsetzen.

In einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist einträgerfixierter Edelmetallkontakt in den Reaktionsloop integriert, so daß der Katalysator in heterogener Form die SiC-Verknüpfungsreaktion im anströmenden Fluid fördert. Hierbei wird die Produktbehaftung mit Übergangsmetallverbindungen minimiert, so daß zeitraubende Filtrations schritte zur Entfernung des Katalysators entfallen.

Das erfundungsgemäße Verfahren sichert eine gleichbleibend hohe Produktqualität und gewährt darüber hinaus die Möglichkeit, einen hohen Automatisierungsgrad in der Produktion von organomodifizierten Siloxanen zu erzielen. Durch Festlegung der Dosierleistungen der Förderorgane in der Edukteinspeisung werden direkt die Verweilzeit im Reaktorsystem und damit der bei einer bestimmten Temperatur zu erreichende Umsatz definiert. Gekoppelt an ein übliches Meß-Steuer-Regeltechnik-System erlauben das erfundungsgemäße Verfahren oder die erfundungsgemäße Vorrichtung dann beispielsweise beim Einsatz integrierter Nah-Infrarotsonden eine Online-mäßige Adaption der Prozeßparameter an den aktuellen Betriebszustand. Dadurch können subjektivmenschliche Fehler in der Reaktionsführung eliminiert werden.

Darüber hinaus wird durch die definierte Dosage der Edukte in einen Reaktionsloop eine Akkumulation von nicht umgesetzten Edukten verhindert, die Anfangsexothermie sicher abgeführt und eine sichere Prozeßführung gewährleistet.

Alternativ zu den variablen Anlageparametern kann auch mit fest eingestellten Anlagenparametern eine Anzahl vorgegebener Produkte ohne Meß-Steuer-Regeltechnik einfach und reproduzierbar hergestellt werden.

DE 198 59 759 C 1

Ausführungsbeispiele

Beispiel 1

- 5 In dem Gefäß B1 wurden 1379 g Heptamethyltrisiloxan (4,99 Val SiH/kg) und in dem Gefäß B2 4491 g eines hydroxyfunktionellen Allylpolyethers (M ca. 522 g/mol, Struktur:

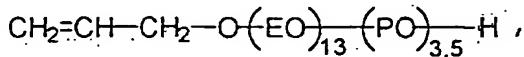


10 (-EO- = -CH₂-CH₂-O-PO- = -CH₂-CH₂-CH₂-O-) JZ: 48,6 gJ/100 g), in dem 18,1 mg cis-Diamino-platin(II) dichlorid (2 ppm Pt) gleichmäßig suspendiert sind, vorgelegt. Mit Pumpleistungen von 280 mL/h und 720 mL/h förderten die Dosierpumpen P1 und P2 die Reaktanten in den zuvor auf 130°C beheizten Loopreaktor (V_{Loop} = 1 l). Die Pumpe P3 wälzte die Reaktionsmischung mit 800–1000 l/h um. Im Reaktionssystem etablierte sich ein Druck von 4 bar. Nach einer mittleren Verweilzeit von 2 Stunden verließ das Produkt den nachgeschalteten Rohrreaktor (V_R = 1 l) und wurde in der Vorlage B3 isoliert.

15 Die gasvolumetrische SiH-Bestimmung (Zersetzung mit Na-Butanolat) belegte einen Endumsatz von ≥ 99%. Begleitende ²⁹Si-NMR-Spektroskopie zeigte, daß die für die SiH-Gruppe charakteristische Signallage bei δ -36,5 ppm vollständig verschwunden war.

20 Beispiel 2

In Analogie zu Beispiel 1 wurden 1637 g eines Polydimethylsiloxans mit seitenständigen SiH-Funktionen (Struktur: MD_{20,5}D₅^HM, SiH-Wert: 2,5 val/kg) in Gefäß B1 und 4564 g eines hydroxyfunktionellen Allylpolyethers (M ca. 25 838 g/mol,



30 JZ: 30,3 gJ/100 g) in dem 19,1 mg cis-Diamino-platin(II) dichlorid (2 ppm Pt) suspendiert wären, in Gefäß B2 vorgelegt. Die Dosierpumpen P1 und P2 förderten die Reaktanten im stöchiometrischen Verhältnis von 1,3 Val Polyether/1 Val SiH-Siloxan in den zuvor auf 130°C erwärmten Reaktionsloop. Nach einer mittleren Verweilzeit von 2 Stunden wurde ein Anlagerungsprodukt in B3 aufgefangen, das 98% SiH-Umsatz aufwies. ²⁹Si-NMR-Spektroskopie sicherte die strukturelle Identität des Produktes mit der Zielvorgabe.

35 Vergleichsbeispiel 1

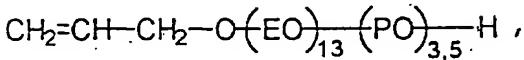
In einem 2000-ml-Vierhalskolben mit KPG-Rührer, Tropftrichter und Rückflußkühler wurden 1140 g eines hydroxyfunktionellen Allylpolyethers (M ca. 522 g/mol



40 JZ: 48,6 gJ/100 g), zusammen mit 22,9 mg cis-Diamino-platin(II) dichlorid (= 10 ppm) und 35 g Heptamethyltrisiloxan (4,99 Val SiH/kg) unter kräftigem Rühren vorgelegt und zügig auf 100°C erwärmt. Die einsetzende, exotherme Reaktion führte zu einem Temperaturanstieg auf 125°C. Bei dieser Temperatur wurden weitere 315 g Heptamethyltrisiloxan so zugeropft, daß einerseits weder die Temperatur der Reaktionsmischung sank, noch daß die Gasentwicklung zu stark wurde. Nach beendeter Zugabe (1 Stunde) wurde der SiH-Umsatz gasvolumetrisch bestimmt (90,7%). Die Reaktionsmischung wurde für weitere 7 Stunden bei 130°C gehalten und der Umsatz stündlich bestimmt. Nach 7 Stunden wurde ein Endumsatz von 96,4% erreicht.

Vergleichsbeispiel 2

Analog Vergleichsbeispiel 1 wurden in einem 2000-ml-Vierhalskolben mit KPG-Rührer, Tropftrichter und Rückflußkühler 1254 g eines hydroxyfunktionellen, Allylpolyethers (M ca. 838 g/mol,



50 JZ: 30,3 gJ/100 g) zusammen mit 26,2 mg (= 10 ppm) cis-Diaminoplatin(II) dichlorid und 45 g eines Polydimethylsiloxans mit seitenständigen SiH-Funktionen (Struktur: MD_{20,5}D₅^HM, SiH-Wert: 2,5 Val/kg) unter kräftigem Rühren vorgelegt und zügig auf 80°C erwärmt. Die Exothermie der einsetzenden Reaktion ließ die Temperatur des Ansatzes auf 112°C steigen. Nach Abklingen der Vorreaktion erwärmte man die Reaktionsmischung auf 130°C und tropfte dann weitere 405 g des Wasserstoffsiloxans so zu, daß kaum Gasentwicklung zu beobachten war und die Temperatur des Reaktionsansatzes nicht unter 125°C sank. Nach beendeter Zugabe (ca. 2 Stunden) lag der gasvolumetrisch ermittelte SiH-Umsatz bei 89% und erreichte in einer Nachreaktionsphase von weiteren zwei Stunden 97%.

DE 198 59 759 C 1

Patentansprüche

1. Verfahren zur kontinuierlichen Hydrosilylierung von CC-Mehrfachbindungen enthaltenden Substanzen, **dadurch gekennzeichnet**, daß man die Reaktanten gegebenenfalls in Anwesenheit eines homogenen oder heterogenen Katalysators in einen schlaufenförmigen, temperierbaren Reaktionskreislauf einbringt, der ein statisches Mischelement und/oder ein dynamisches Mischelement aufweist, um Edukte und gebildetes Produkt zu vermischen, das Reaktionsgemisch bis zu einem vorbestimmten Umsetzungsgrad in dem Reaktionskreislauf beläßt, anschließend das noch Edukte enthaltende Reaktionsgemisch zur Vervollständigung der Reaktion in einen Rohrreaktor überführt und über eine Vorlage entnimmt. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man einen schlaufenförmigen Reaktionskreislauf mit einem Rührkessel oder einer Rührkesselkaskade einsetzt. 10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man einen Träger-fixierten Edelmetallkatalysator einsetzt.
4. Vorrichtung zur kontinuierlichen Hydrosilylierung vor wenigstens eine CC-Mehrfachbindung enthaltenen Substanzen umfassend eine Vorlage (B1) zur Aufnahme der gegebenenfalls mit einem Katalysator beaufschlagten Substanz, eine Vorlage (B2) zur Aufnahme der Hydrosilylierungskomponente, Fördereinrichtung (P1, P2) zum Einbringen eines Eduktstroms in einen schlaufenförmigen, temperierbaren Reaktionskreislauf, enthaltend ein stationäres Mischelement und/oder ein dynamisches Mischelement (SM) zum Vermischen der Edukte und des gebildeten Produkts, Einrichtungen zum Ableiten der Reaktionswärme, einen Rohrreaktor zur Vervollständigung der Reaktion und Einrichtungen zum Auffangen des Produktes (B3). 15
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktionskreislauf einen Rührkessel oder eine Rührkesselkaskade umfaßt. 20

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

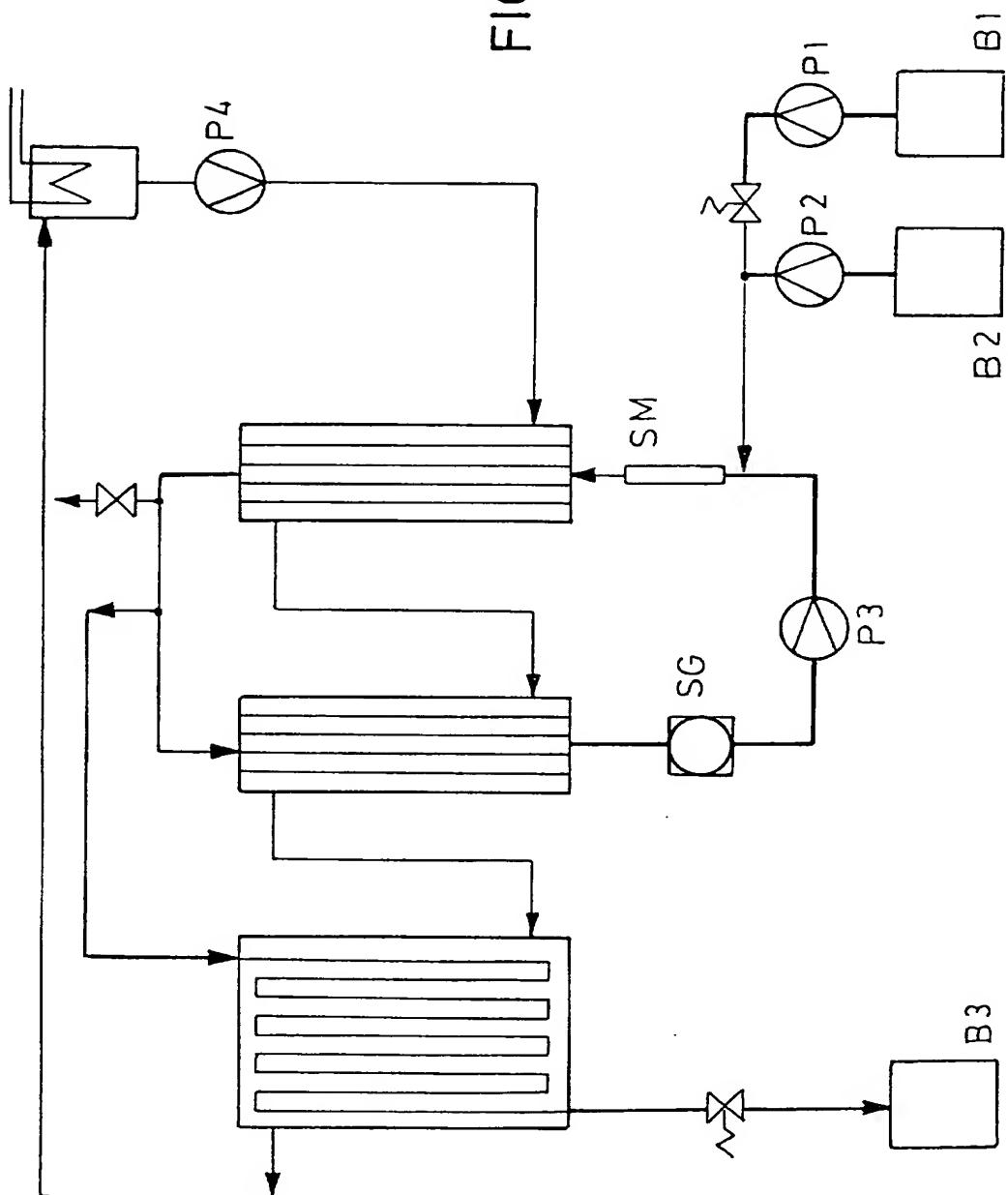
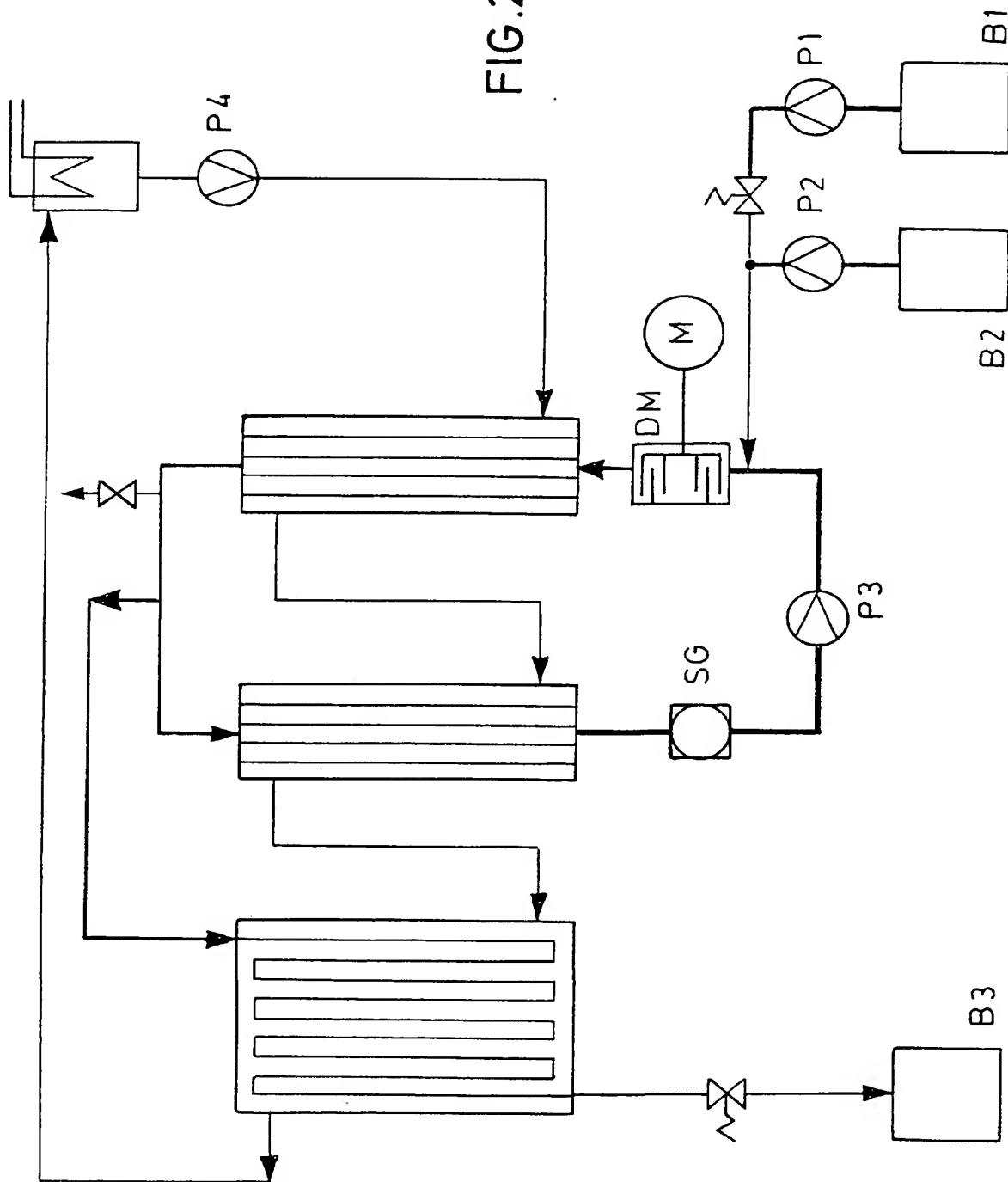


FIG. 2



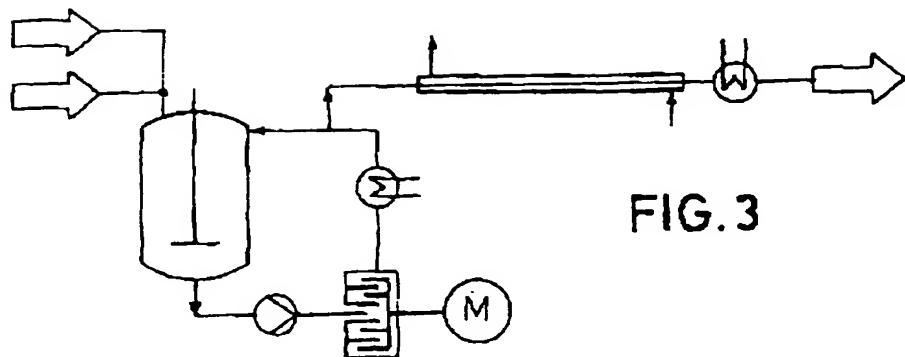


FIG. 3

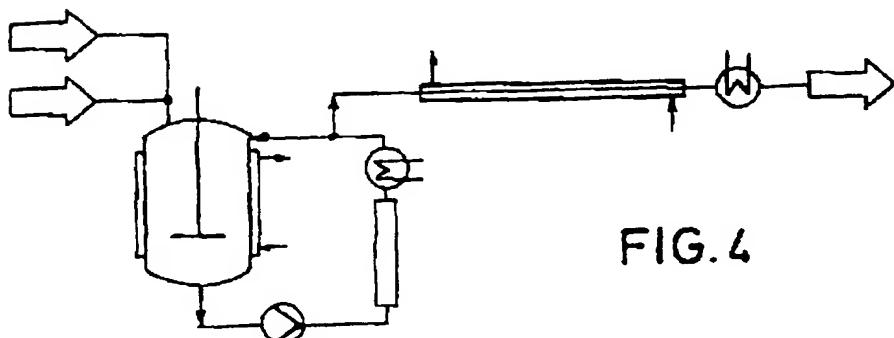


FIG. 4

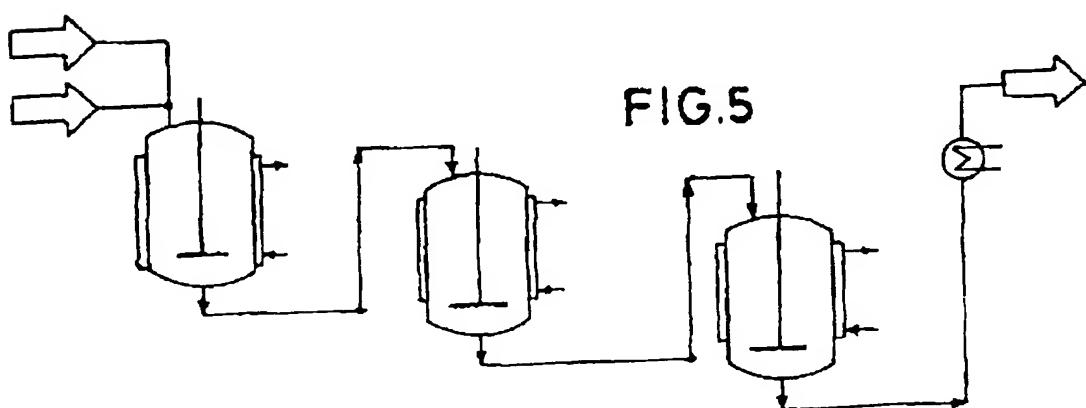


FIG. 5